

流動床ガス化技術による廃棄物からのエネルギー回収

松永康平* 井原貴行* 松岡慶**
蟬谷健一** 長谷川竜也** 河岸孝昌**

Fluidized-bed Gasification for Recovering Energy from Waste

by Kohei MATSUNAGA, Takayuki IHARA, Kei MATSUOKA, Kenichi SEMITANI,
Tatsuya HASEGAWA, & Takayoshi KAWAGISHI

R&D is underway for a novel ICFG (Internally Circulating Fluidized-bed Gasifier) for converting biomass and wastes into higher calorific product gas. This gas is for use as alternative fuel for power generation and liquid fuel synthesis by industries. A performance test of the ICFG had been done at a test facility for over 6700 hours and results confirmed that it was a feasible system for recovering energy from biomass and wastes.

Keywords: Fluidized-bed, Gasification, Pyrolysis, Biomass, Waste, Energy, Power generation, Liquid fuel synthesis

1. はじめに

廃棄物やバイオマスを有効利用することは、世界的なエネルギー・環境問題のひっ迫に伴って、その重要性は急速に増している。廃棄物・バイオマスの流動床ガス化技術は、この問題を解決する中核技術として期待されている。しかし、廃棄物やバイオマスはもっているエネルギー密度が低いため、有用なガスを効率的かつ経済的に得ることは困難である。そのような視点から、我々は内部循環流動床ガス化炉 (Internally Circulating Fluidized-bed Gasifier: ICFG) という独自の機構をもった流動床ガス化炉の開発を進めてきた。本ガス化炉は、ガス化で得られる生成ガスと燃焼で発生する排ガスを分離することにより、様々な用途に役立つ発熱量の高い生成ガスを得られるようにしたものである。以下に、ICFGの特徴と現時点までの研究開発状況について述べる。

2. 内部循環流動床ガス化炉 (ICFG) の特徴

ICFGの概略図を図1に示す。ICFGの構造で最も特徴的な部分は、一つの流動床が仕切り壁によって異なる機能をもつ二つの部屋に分けられていることである。ガス化室では原料を受け入れて熱分解とガス化を行い、生成ガスを取り出す。同時に発生した熱分解残渣は流動媒体 (Bed Material: BM) とともに燃焼室に移動する。燃焼室では、熱分解残渣を完全燃焼させ、燃焼排ガスは生成ガスとは別に排気する。残渣の燃焼により温度の上ったBMは再びガス化室へと移動し、熱分解・ガス化

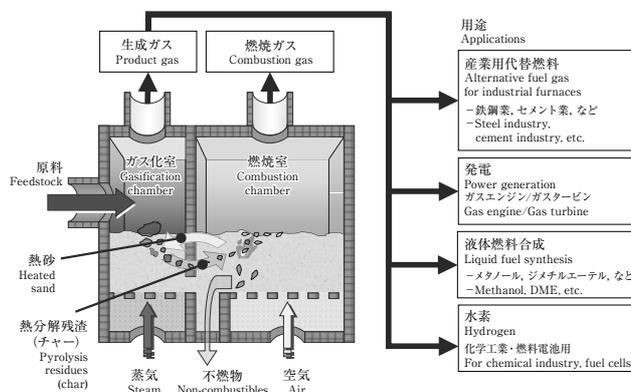


図1 ICFG概念図

Fig. 1 Schematic illustration of the ICFG

* (株)荏原総合研究所 燃焼・ガス化プロジェクト室
** エバラ・エンバイロメンタル・ジャーマニー
** 環境事業カンパニー 環境プラント事業本部 技術統括部 環境エネルギー技術室 プロジェクトグループ
*** 同 環境開発統括部 環境エネルギー開発室 袖ヶ浦技術開発試験所

の熱源として作用する。このように、一つの流動床が内部で2室に分けられ、その間をBMが行き来するため、内部循環流動床ガス化炉と呼称する。本ガス化炉は、この特徴的な機構により次のような長所がある。

(1) 高発熱量の生成ガス：

生成ガスは燃焼排ガスと別々に取り出されるため、従来の部分酸化型ガス化炉と比較して高い発熱量の生成ガスが得られる。

(2) 純酸素の供給が不要：

燃焼用に空気を用いても、空気中に含まれる窒素は燃焼排ガスとともに排出されて生成ガスには混ざらないため、純酸素を用いる必要がない。

(3) 燃焼室での完全な焼却処理：

熱分解残渣や、ガス洗浄・精製プロセスから発生する排水・汚泥などの有害物質を、燃焼室で完全燃焼することで無害化することが可能。

生成ガスが高い発熱量をもつことは、それを利用するにあたって有利に働く。例えば、生成ガスの用途としては、鉄鋼業や製紙業、セメント製造などの化石燃料を大量に消費している業種への代替燃料としての利用が最も実用的であると考えられる。その場合、化石燃料に匹敵する燃焼温度を得るためには、高い発熱量の生成ガスであることが不可欠である。また、ガスエンジンによる発

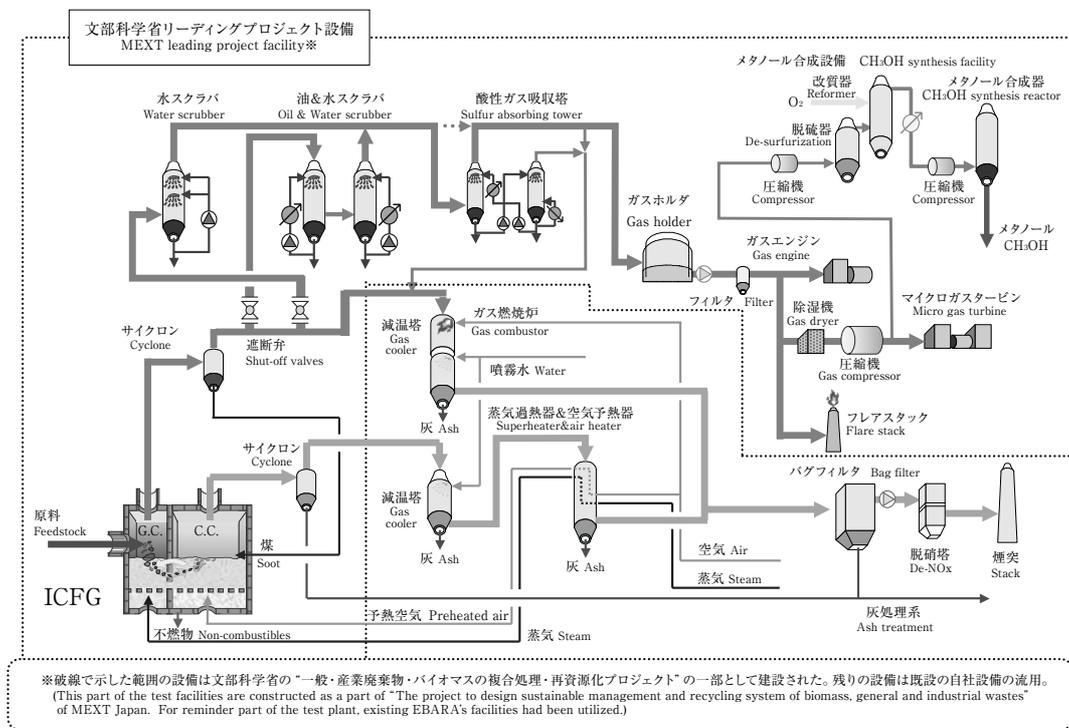
電や、メタノール・ジメチルエーテルといった液体燃料合成に用いる場合でも、高い発熱量のガスであれば、プロセスの効率やコストを改善することができる。

生成ガスに含まれるタールやすず、塩素などの不純物は、ガスの用途に応じて許容値が異なる。そのため、生成ガスの用途に合わせてガス洗浄設備を設計することが、ガスの有効利用には欠かせない。

3. 試験設備について

ICFGの研究開発は、千葉県袖ヶ浦市に建設した試験設備で行っている。設備外観を写真に示す。本設備の大部分は、文部科学省のリーディングプロジェクトの一環として建設された。設備能力は、都市廃棄物基準で15 t/dである。設備全体のフローを図2に示す。破線で囲った部分が文部科学省のリーディングプロジェクトで建設したもので、それ以外は既存設備の流用である。

フローの概略を説明する。ICFGから取り出された生成ガスは、まず油スクラバ・水スクラバ・酸性ガス吸収塔から成るガス洗浄設備に送られる。ガス洗浄設備は、すべてを使うことも、一部だけ（例えば水スクラバだけ）を使うことも可能になっており、後段での試験に応じて使い分ける。ガス洗浄設備でタール等を除いた生成ガスは一旦ガスホルダに貯蔵し、ガスエンジン及びマイクロ



※破線で示した範囲の設備は文部科学省の「一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト」の一部として建設された。残りの設備は既存の自社設備の流用。
 (This part of the test facilities are constructed as a part of "The project to design sustainable management and recycling system of biomass, general and industrial wastes" of MEXT Japan. For reminder part of the test plant, existing EBARA's facilities had been utilized.)

図2 試験設備フロー
 Fig. 2 Flow diagram of test facility



07-75 01/217

写真 ICFG試験設備外観

Photo Overview of ICFG test facility

ガスタービンから成る動力回収設備や、メタノール合成設備に送って、試験に用いる。また、余剰生成ガスについてはガス燃焼炉で焼却して、ICFGの燃焼室側から排出される燃焼排ガスと合流させる。燃焼排ガスは減温した後バグフィルタで除じんして、大気へ放出する。

4. 試験結果

表1に本設備での試運転実績を示す。本設備は2002年度に建設され、2003年度から運用を開始、以降、表1に記載のように現在までに様々な原料で延べ6700時間以上の試運転を行い、ガス化特性などを調べている。各原料の分析結果の一部を図3に示す。原料の種類によって、水分割合や灰分割合、また元素組成が大きく異なっている。

表1 試運転実績

Table 1 Test operation experience

原料 Feedstock	略号 ID	低位発熱量 (MJ/kg) LHV	運転時間 (h) Operation hours	原料供給量 (t) Throughput
木材チップ (未使用) Wood chips (virgin)	WC	9.5 ~ 14.0	1609	915
RDF&プラスチックペレット RDF & plastics pellets	RDF	16.8 ~ 46.0	250	66
下水汚泥 Sewage sludge	SS	13.0	66	65
一般廃棄物 Municipal solid wastes	MSW	7.3 ~ 15.0	2700	988
廃プラスチック Waste plastics	WP	28.6 ~ 36.0	1422	289
建設廃棄物* Construction wastes	WC, MW	12.9 ~ 21.9	319	102
エチレンボトムオイル Ethylene bottom oil	EB	39.2	421	32
計 Total	-	-	6787	2457

※ 廃木材チップ(WC)と混合廃棄物(MW)として、建設廃棄物から分別されたものを用いた。

Waste wood chips (WC) and mixed wastes (MW) separated from construction wastes were used.



図3 原料分析結果

Fig. 3 Analysis of feedstock

ることが分かる。例えば元素組成なら、廃プラスチックは炭素や水素の割合が高くて酸素の割合が低く、木チップはその逆の傾向、一般廃棄物や混合廃棄物は中間の傾向を示している。このように原料性状が変わっても、ICFGではBMの循環量を制御することで流動床温度や熱分解残渣の発生量などをコントロールし、操業を安定させることができる。そのため、多様な原料に対して一つの試験プラントで試運転を実施できるのである。なおICFGではBM循環量を制御するためにガス化室と燃焼室との間にBM循環量の制御機構を設けており、操作量(流動化状態他)を変えることで、容易に循環量を制御することができる。図4に操作量とBM循環量の関係を示す。

図5に生成ガスの組成と低位発熱量のグラフを示す。廃プラスチックのガス化の場合は、タール分を自己熱改質反応により減少させるために少量の酸素をガス化室フ

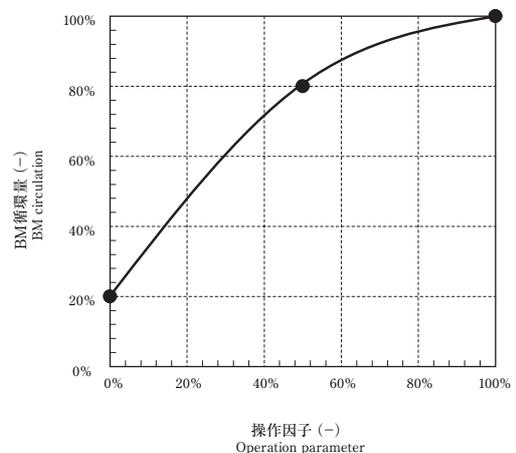


図4 BM循環量

Fig. 4 BM circulation

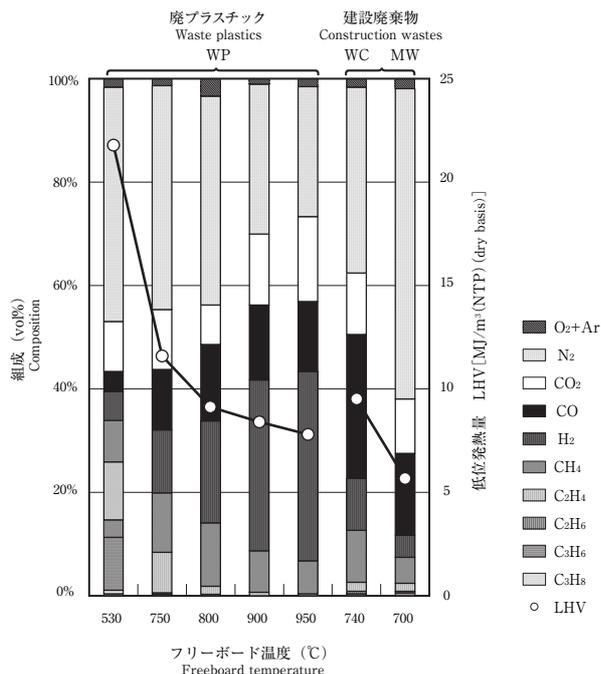


図5 生成ガスの組成と低位発熱量
Fig. 5 Composition & LHV of Product Gas

リーボードに供給しており、酸素の供給量に応じてフリーボード温度が変化した。温度が上がるに連れて炭化水素類とタール分が減少し、結果として低位発熱量が減少していくことがわかる。変化の幅は、フリーボード温度が530～950℃に対して低位発熱量が22～7.5 MJ/m³(NTP)である。また、建設廃棄物のガス化においては、木材チップからの生成ガスの方が混合廃棄物由来のものよりも窒素が少なく、発熱量が高い結果となった。

原料の低位発熱量と生成ガスの低位発熱量から計算した冷ガス効率のグラフを図6に示す。グラフに示すとおり、冷ガス効率は原料の発熱量に強く依存する。都市ごみでは10～15%程度だが、木材チップ（建設廃棄物）や廃プラスチックを原料とした場合は、60%以上の効率が期待できる。

生成ガスを用いたガスエンジン運転試験の結果について表2に示す。表に記載のとおり、様々な原料からの生成ガスを用いてガスエンジン運転試験を行い、生成ガスだけでの自立運転が可能であることを確認した。また、生成ガス中のタール分に対するガスエンジンの耐久性についても調査を行い、その結果を踏まえてガス洗浄設備のプロセス、運転条件の改善なども並行して行っている。

ガスエンジン運転試験の結果から試算した発電効率（送電端）について図7に示す。試験運転の結果から、試験設備の規模で木材チップ（低位発熱量：11 MJ/kg）

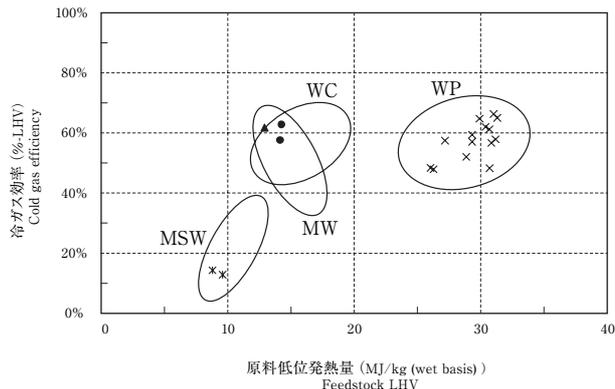


図6 冷ガス効率
Fig. 6 Cold gas efficiency

表2 ガスエンジン試験結果
Table 2 Gas engine test result

原料 Feedstock	生成ガス 低位発熱量 (MJ/m ³ (NTP)) Product gas LHV	理論出力 (kW) Theoretical output	試験時最大出力 (kW) Actual maximum output
木材チップ(未使用) Wood chips (virgin)	10.4	46	37
下水汚泥 Sewage sludge	13.1	48	40
一般廃棄物 Municipal solid wastes	9.6	44	40
廃プラスチック Waste plastics	14.2	47	42
建設廃棄物 (木材チップ) Construction wastes (WC)	8.9	43	37

合計運転時間：350時間以上
Operation records : Over 350 h

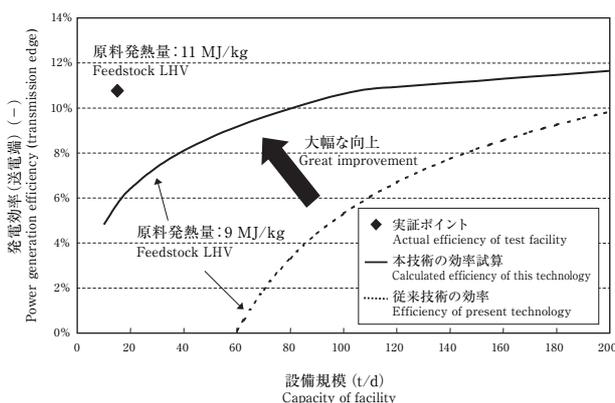


図7 発電効率の計算
Fig. 7 Calculation of power generation efficiency

からの生成ガスでは、10.8%の発電効率となることが分かった。試験設備の規模（15 t/d）は、従来方式（焼却+ボイラ+蒸気タービンによる発電）では発電不可能な

表3 メタノール合成試験結果
Table 3 Result of methanol synthesis test

運転時間 Operation hours	(h)	34
通ガス量 Gas feed amount	(m ³ (NTP))	47.8
反応器入口ガス組成 Gas composition at reactor inlet	(Vol%)	
H ₂		45.8%
CO		1.0%
CO ₂		15.3%
Inert (N ₂ , CH ₄ , etc.)		37.9%
粗メタノール回収量 Recovered crude methanol	(kg)	2.72
粗メタノール純度 Purity of crude methanol	(wt%)	60.0%
平均転化率 Average conversion ratio	(%-CO&CO ₂)	14.7%

領域である。この結果を基に試算したところ、原料の低位発熱量が9 MJ/kgで設備規模を100 t/dとした場合、従来方式と比較して約2倍の10.6%の発電効率となった。以上のように、本方式（ICFGによるガス化+ガスエンジンによる発電）では従来方式よりも発電効率が高く、より小さな設備規模でも発電可能であることが示された。バイオマスは発生源や収集コストの問題から小規模分散型の設備が望まれており、本方式はそれに応え得るものといえる。

最後に、生成ガスからのメタノール合成試験の結果について表3に示す。生成ガスとしては木材チップ由来のものを用い34時間の運転を実施した。表に示したように、純度60%のメタノールを2.7 kg得ることができた。転化率は14.7%で、これはガス組成及び実験条件（ゲージ圧力8.0 MPa, 240℃）において、ほぼ平衡まで反応が進んでいたことを示している。メタノール合成反応は次の二つの反応式で示される、水素と一酸化炭素及び二酸化炭素を原料とする反応で、二酸化炭素からは水が副生するため一酸化炭素の割合が高いことが望ましい。

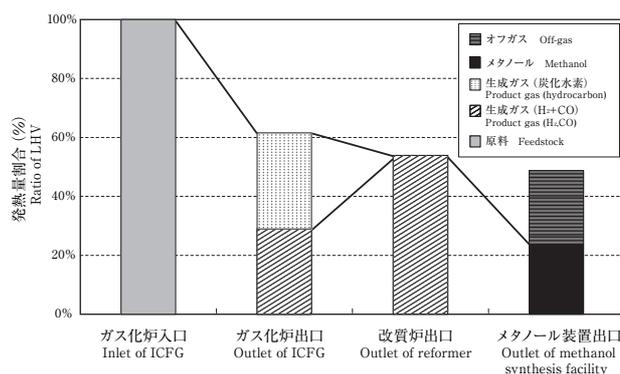


図8 メタノール合成効率試算
Fig. 8 Calculation of methanol synthesis efficiency

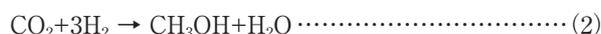
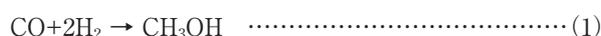


表3に示した結果では、小型の試験装置ゆえ放熱ロスが大きく、改質プロセスでの部分燃焼率が高くなってしまったため上式(2)の反応が優勢となりメタノール純度が低くなっている。本試験装置での放熱ロスは、改質器の部分燃焼で発生した熱量の86%にもなっていた。これが20%程度に抑えられると仮定して、実機でのメタノール合成効率を試算した結果を図8に示す。合成されるメタノールのもつエネルギー量は、ガス化炉入口の原料のもつエネルギー量に対して約24%、ガス化炉出口の生成ガスのもつエネルギー量に対しては約39%となることが分かった。

5. 結 言

ICFGの実証研究開発の概略状況については前記に示してきたとおりである。これらの実証の成果を基に、具体的な商用化案件の検討を進めているところである。我々は、一日も早い本技術の商用化を実現し、世界的なエネルギー・環境問題の改善に貢献していく所存である。